



RAPPORT LNR 4840-2004

**Økotoksikologisk undersøkelse av
avløpsvann fra Kronos Titan AS
samt analyse av metaller i tang fra
Glommas munningsområde og
Hvaler**

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann fra Kronos Titan AS samt analyse av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler	Løpenr. (for bestilling) 4840-2004	Dato 27/05-204
	Prosjektnr. Undernr. O-24124	Sider Pris 25
Forfatter(e) Torsten Källqvist og John Arthur Berge	Fagområde Miljøgifter sjøvann	Distribusjon Fri
	Geografisk område Østfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Kronos Titan A/S	Oppdragsreferanse
--------------------------------------	-------------------

Sammendrag NIVA har gjennomført økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann fra Kronos Titan AS og analysert innholdet av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler.

Giftighetstestene viste ingen akutt-toksiske effekter av avløpsvannet på krepsdyret *Acartia tonsa* ved innblanding av opp til 32 % av avløpet i sjøvann. Veksten av alger (*Skeletonema costatum*) ble signifikant redusert ved konsentrasjoner over 3.2 %, men veksthemmingen var mindre enn 10 % opp til 32 % konsentrasjon av avløpsvann. Giftighetstestene bekreftet at den samlede gifteffekten av metaller var ubetydelig ved 3 gangers fortynning. Undersøkelsen viser at innhold av syre er den faktor som vil være viktigst for eventuelle skadevirkninger av utslipp av avløpsvannet i resipienten. Med unntak av jern (Fe) og titan (Ti) ble det i 2003 observert lave til moderate konsentrasjoner av metaller i blæretang. Med disse unntak har utslippene fra bedriften ikke gitt noen tydelig forringelse av miljøkvaliteten målt ut fra nivåer av metaller i blæretang. For jern og titan er det imidlertid klare gradienter i resipienten med de høyeste konsentrasjoner i Glommas munningsområde. Dette skyldes trolig utslippene fra Kronos Titan AS. Ut fra giftighetstestene og analyser av metaller i blæretang synes utslippene fra bedriften å ha liten til moderat effekt i resipienten.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Metaller	1. Metals
2. Prosessavløp	2. Effluents
3. Giftighetstesting	3. Toxicity testing
4. Blæretang	4. Bladderwrack

John Arthur Berge
Prosjektleder

Kristoffer Næs
Forskningsleder
ISBN 82-577-4522-7

Jens Skei
Forskningsdirektør

Økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann fra
Kronos Titan AS samt analyse av metaller i tang fra
Glommas munningsområde og Hvaler

Forord

Ifm. ny konsesjonssøknad for sine utslipp til Glomma tok Kronos Titan AS i mars 2004 kontakt med NIVA for å få gjennomført undersøkelser knyttet opp mot bedriftens hovedavløp og eventuell påvirkning i resipienten. NIVA utarbeidet i tilbud av 2/4-2004 et forslag til undersøkelser som omfattet økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann fra bedriften samt analyse av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler. I elektronisk post av 2/4-2004 fra Kronos Titan mottok NIVA en bestilling på undersøkelser i henhold til NIVAs tilbud.

Delundersøkelsen som omhandler økotoksikologisk karakterisering av avløpsvann ble gjennomført av Åse Bakketun og Randi Romstad under ledelse av Torsten Källqvist. Innsamling av vannprøver for denne karakterisering ble foretatt av bedriften.

Feltinnsamling av blæretang ble foretatt av Aud Helland og John Arthur Berge ifm et tidligere gjennomført prosjekt for Borregaard industries Limited i 2003 (Berge et al 2003). Alle metallanalyser ble foretatt av NIVA.

I prosjektperioden har Per Thoen vært kontaktmann hos Kronos Titan AS. Leder for prosjektet hos NIVA har vært John Arthur Berge.

Oslo, 27/05-2004

John Arthur Berge

Innhold

Sammendrag	2
1. INNLEDNING	2
2. Metoder	2
2.1 Økotoksikologisk karakterisering av avløpsvannet.	2
2.1.1 Undersøkelse av pH-effekter	2
2.1.2 Giftighetstester	2
2.1.3 Kjemiske analyser av avløpsvann	2
2.2 Analyse av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler	2
3. Resultater og diskusjon	2
3.1 Økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann	2
3.1.1 Avløpsvannets effekt på pH i resipienten	2
3.1.2 Giftighet	2
3.1.3 Innhold av metaller i avløpsvannet	2
3.2 Analyse av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler	2
4. Avsluttende kommentarer og konklusjoner	2
5. Referanser	2

Sammendrag

Kronos Titan AS har et prosessavløp som går ut på 6 m dyp i Glomma utenfor bedriftens område på Øra. Utslipet fra bedriften består i hovedsak av svovelsyre, titandioksid, jernsulfat, en del metaller og har lav pH. I Glomma ved utslippet er overflatevannet relativt ferskt, mens en på 6 m har større innslag av saltvann (middel: 21,6 PSU).

Ifm. ny konsesjonssøknad for sine utslipp har NIVA på oppdrag for Kronos Titan AS gjennomført økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann fra bedriften, avklart avløpsvannets innvirkning på pH-verdien i resipientvann samt analysert innholdet av metaller i tang fra resipienten. Avløpsvannets gifteffekter ble undersøkt på kiselalgen *Skeletonema costatum* (veksthemmingstest) og krepsdyret *Acartia tonsa* (48 timers LC50-test). Begge testorganismer er arter som opptrer i marine områder. For at ikke den lave pH-verdien i avløpsvannet skulle bli utslagsgivende ble testvannet justert til pH=8 før testene ble gjennomført. Algetesten ble gjennomført med tilsetning av næringssalter før og etter pH-justering for å avklare i hvilken grad utfelling under pH-justeringen hadde innvirkning på resultatene.

Giftighetstestene viste ingen akutt-toksiske effekter av avløpsvannet på krepsdyret *Acartia tonsa* ved innblanding av opp til 32 % av avløpet i sjøvann (3 gangers fortynning). Resultatet av veksthemmingstesten hvor tilsetning av næringssalter ble gjort før pH-justering tydet at avløpsvannet har en veksthemmende effekt, men forløpet av vekstkurvene indikerte at dette hadde sin årsak i næringsbegrensning og kan ikke karakteriseres som en gifteffekt. En ny test med tilsetning av næringssalter ble derfor gjennomført for å avklare årsaken til veksthemmingen. Veksten av algen ble da signifikant redusert ved konsentrasjoner av avløpsvann på over 3.2 %, men veksthemmingen var mindre enn 10 % opp til 32 % konsentrasjon av avløpsvann.

Dersom en legger gjeldende kvalitetsnorm i Canada (pH 7.0) til grunn tyder pH-resultatene fra fortynningsserier av avløpsvannet i sjøvann (saltholdiget ca 20 PSU) på at en fortynning på ca 50 ganger er tilstrekkelig til å unngå miljøeffekter av pH. Tilsvarende er fortynningsbehov i brakkvann (5 PSU) ca 70 ganger for å oppfylle kravet til "god miljøtilstand" i ferskvann (pH 6.0) ifølge SFTs kriterier.

Med utgangspunkt i gjeldende kvalitetsnorm i Canada (pH 7.0) tyder resultatene fra pH-måling i avløpsvann fortynnet med sjøvann (saltholdiget 20 PSU) på at fortynningsbehovet for å unngå miljøeffekter av pH er ca 50 ganger. For å tilfredsstille kravet til "god miljøtilstand" i SFTs kriterier for ferskvann (pH 6.0-6,5) (Andersen et al. 1997) må avløpet fra bedriften fortynnes mer enn ca 70 ganger

Giftighetstestene bekreftet at den samlede gifteffekten av metaller var ubetydelig ved 3 gangers fortynning. Undersøkelsen tyder på at innhold av syre (dvs. pH) er den faktor som vil være viktigst for eventuelle skadevirkninger av utslipp av avløpsvannet i resipienten.

Med unntak av jern (Fe) og titan (Ti) ble det i 2003 observert lave til moderate konsentrasjoner av metaller i blåretang i Glommas munningsområde og Hvaler. Med unntak for Fe og Ti har utslippene fra bedriften ikke gitt noen tydelig forringelse av miljøkvaliteten målt ut fra de observerte metallnivåer i blåretang. For jern og titan var det imidlertid klare gradienter i resipienten med de høyeste konsentrasjoner i Glommas munningsområde. De relativt høye konsentrasjonene i munningsområdet skyldes utslippene fra Kronos Titan.

Klare tidstrender kunne ikke observeres mht. innholdet av jern og titan i alger på stasjonene nærmest Glommas munning (Belgen, Kjøkø, N-Asmaløy) og alle undersøkte år ble de høyeste konsentrasjoner

observert på disse stasjoner. På de mer fjerntliggende stasjonene (Singløykalven, Kvernskjær, Missingen, Tisler) var det noe høyere verdier i 1995 i forhold til de øvrige år, muligens som en konsekvens av utspyling ifm. flommen i Glomma i 1995.

Ut fra giftighetstestene og resultatene fra analyse av metaller i blæretang, samt at jern og titan er metaller som en ikke er spesielt opptatt av i miljøsammenheng, synes utslippene fra Kronos Titan å ha liten til moderat effekt/påvirkning i resipienten.

1. INNLEDNING

Kronos Titan har et utslipp av prosessavløpsvann fra sitt produksjonsanlegg på Øra. Utslippet (ca 400 m³/h) går ut på 6 m dyp i Glomma utenfor bedriften. Utslippet består i hovedsak av svovelsyre, titanoksid og jernsulfat og en del metaller (se **Tabell 8** for mer detaljer). I resipienten ved utslippet har en et meget ferskt overflatevann [middel: 5,8 PSU (PSU=Practical salinity unit, tilsvarer omtrent g/l)] og et saltvann (middel: 21,6 PSU) på 6 m dyp (Magnusson et al. 1993). Saltholdigheten varierer blant annet med vannføringen i Glomma.

Ifm. ny konsesjonssøknad for sine utslipp bad Kronos Titan AS NIVA om å gjennomføre økotoksikologiske undersøkelser av bedriftens hovedavløp og analyse av metaller i algeprøver fra resipienten. I foreliggende dokument rapporteres disse undersøkelser.

2. Metoder

2.1 Økotoksikologisk karakterisering av avløpsvannet.

Innsamling av vannprøver for denne karakterisering ble foretatt av bedriften. Prøver av avløpsvannet ble tatt ut med en automatisk prøvetaker (ISCO 3700). Prøvetakeren tar ut prøver både tids- og mengdeproporsjonalt. Prøvetakeren samler prøver fra hvert skift (dvs. en 8 timersperiode) og fra disse 3 prøver lages en døgnprøve. Fra døgnprøver i perioden 1-13 april ble det tatt ut delprøver som ble slått sammen til en prøve på ca 5 liter som ble oversendt NIVA for testing.

2.1.1 Undersøkelse av pH-effekter

Avløpsvannets innvirkning på pH-verdien i resipientvann ble undersøkt ved måling av pH i fortynningsserier av avløpsvannet i sjøvann/brakkvann med salinitet 5 PSU og 20 PSU. Prøvene av sjøvann ble laget ved fortynning av sjøvann med salinitet ca 35 PSU fra 60 m dyp i ytre Oslofjord.

2.1.2 Giftighetstester

Avløpsvannets gifteffekter på marine organismer ble undersøkt med kiselalgen *Skeletonema costatum* og krepsdyret *Acartia tonsa* (Copepode).

Algetesten ble utført i henhold til ISO 10253 – Marine algae growth inhibition test. I testen undersøkes algenes veksthastighet i en konsentrasjonsserie av avløpsvannet, fortynnet i et sjøvannsmedium tilsatt næringsstoffer for alger. pH-verdien i konsentrasjonsserien ble justert til sjøvannets pH (ca. 8.0) for å unngå direkte pH-effekter på algeveksten. Ved justeringen av pH oppsto en utfelling i prøvene som ble fjernet ved filtrering gjennom glassfiberfilter (Whatman GF/C) før algene ble tilsatt. På grunn av at utfellingen kan tenkes å fjerne noen av de næringssalter som inngår i vekstmediet ble testen gjentatt med tilsetning av næringstoffene etter pH-justering og filtrering.

Testløsningene med alger ble inkubert på et gyngebord under kontinuerlig belysning (ca. 70 μM kvanta $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ved temperaturen 20-22 °C. Veksten av alger ble fulgt ved daglig registrering av celletetthet i kulturene i tre døgn. Testen ble utført med tre replikater ved konsentrasjonene 3.2, 5.6, 10, 18 og 32 %. Seks replikater i rent sjøvannsmedium inngikk som kontroller i testoppsettet.

Algenes veksthastighet ble beregnet for hvert replikat. Verdiene ble også beregnet som prosent av middelverdien for kontrollene, slik at graden av veksthemming blir uttrykket i forhold til kontrollkulturene. Dersom algetesten viser at veksthemmingen øker med økende konsentrasjon av avløpsvann tilpasses en responskurve til datapunktene ved regresjonsanalyse og fra kurven kan konsentrasjonene som gir hhv. 10% og 50% veksthemming beregnes. Disse konsentrasjonene betegnes hhv. EC_{10} og EC_{50} . Veksthastigheten ved hver konsentrasjon av avløpsvann kan også sammenliknes statistisk med kontrollen for å bestemme hvilke konsentrasjoner som gir en signifikant veksthemming (NOEC = No Observable Effect Concentration). Analysen ble gjort med Dunnett's test ($p=0.05$).

Giftighetstesten med *Acartia tonsa* ble utført i henhold til ISO 14669 – Determination of acute lethal toxicity to marine copepods (*Copepoda*, *Crustacea*). Testdyr fra en laboratoriekultur ble eksponert i en fortynningsserie av avløpsvannet i sjøvann med saliniteten 32 PSU. Testen ble utført med fire replikater ved konsentrasjonene 3.2, 5.6, 10, 18 og 32 % og 8 kontrollreplikater i 50 ml plastbeger. Til hvert beger ble det tilsatt 5-9 voksne *Acartia* (alder 17 - 25 døgn). Testbegrene ble plassert i mørke ved temperaturen 20 ± 0.5 °C. Antallet levende og døde forsøksdyr ble undersøkt etter 24 og 48 timer.

2.1.3 Kjemiske analyser av avløpsvann

En prøve av avløpsvannet ble analysert for innhold av metallene Cd, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti, V og Zn ved bruk av ICP (NIVA metode E 9-5) ved NIVAs kjemiske laboratorium.

2.2 Analyse av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler

Forekomst av metaller i blæretang (*Fucus vesiculosus*) gir et bilde av i hvilken grad et område er metallbelastet. I 2003 ble det gjennomført en undersøkelse for Borregaard industries Limited for å avklare om bedriftens utslipp av kobber til Glomma kan ha påvirket elvens munningsområde og Hvaler (Berge et al 2003). Disse prøver ble analysert for de følgende metaller: kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), bly (Pb), sink (Zn), jern (Fe), vanadium (V) og titan (Ti). Alle analyser ble foretatt av NIVA etter metodene skissert i **Tabell 1**.

Målsetningen var å gi et bilde av i hvilken grad Glommas munningsområde og Hvaler er påvirket av metaller. Prøver fra følgende lokaliteter ble analysert: Belgen, Kjøkkø, Fugleskjær, N-Asmaløy, Flatskjærene, Singløykalven, Kvernskjær og Tisler (**Figur 1**). Blæretang for analyse av metaller ble innsamlet ved å vasse eller ved svømmedykking i grunnområdene på den aktuelle lokalitet. Fra hvert område ble det innsamlet 20 individer av blæretang. En blandprøve bestående av den øvre del (5-10 cm) av disse individer ble analysert.

Tabell 1. Metode brukt til analyse av metaller i blæretang innsamlet i 2003. Kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), bly (Pb), sink (Zn), jern (Fe), vanadium (V) og titan (Ti).

Metall	Cr	Hg	Cd, Cu, Pb, V, Zn, Fe	Ti, Fe ¹⁾
Metode (NIVA)	E 2	E 4-3	E 8-3	E 9-5
Beskrivelse av metode i stikkords form	Atomabsorpsjon, grafittovn	Atomabsorpsjon, kalddamp teknikk, amalgamerinssystem	ICP-MS (Plasma-Masse spektrometri)	ICP-AES.



Figur 1. Stasjoner for innsamling blæretang.

3. Resultater og diskusjon

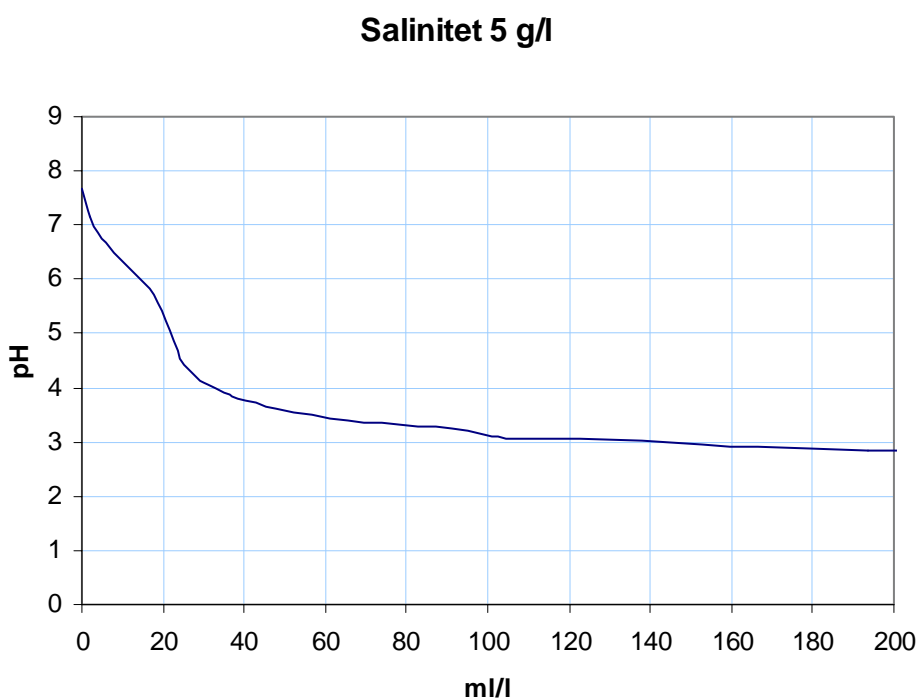
3.1 Økotoksikologisk undersøkelse av avløpsvann

3.1.1 Avløpsvannets effekt på pH i resipienten

Avløpsvannet fra Kronos Titan har meget lav pH-verdi som skyldes innhold av svovelsyre. Den undersøkte prøven hadde en pH på ca. 2.3. I nærområdet rundt utslippet vil derfor lav pH kunne gi skader på organismer. Utslippspunktet er i et saltvannspåvirket område og faren for skadelige effekter av forsuring må derfor vurderes på grunnlag av marine organismers toleranse for redusert pH-verdi. I naturlig sjøvann med salinitet på 35 PSU er den normale pH-variasjonen 7.8-8.2. Marine organismer er derfor ikke utsatt for store variasjoner i pH og man kan derfor anta at toleransen for avvik fra det naturlige intervallet er lavere enn for ferskvannsorganismer som er tilpasset en større naturlig variasjon. Tilgjengelige studier av effekter av pH på marine organismer tyder ikke på at en reduksjon på 0.5-1.0 pH-enhet medfører skader (Knutzen 1981). Nyere undersøkelser i forbindelse med forsuring av verdenshavene forårsaket av tilførsel av CO₂ kan imidlertid tyde på at enkelte marine organismer er langt mer følsom for pH reduksjoner enn det en tidligere har trodd.

Miljøvernmyndighetene i USA har utarbeidet vannkvalitetskriterier som er ment å sikre uakseptable økologiske effekter ved lang tids eksponering (US EPA 2002). For pH i sjøvann er kriteriet 6.5-8.5. Tilsvarende kriterium i Canada er 7.0-8.7 (Environment Canada 2002).

Effekten av innblanding avløpsvannet på pH-verdien i resipienten vil være avhengig av saliniteten fordi sjøvann har en høyere bufferkapasitet enn ferskvannet i Glomma. En undersøkelse av pH ved ulike blandingsforhold mellom avløpsvann og resipientvann ble gjort i resipientvann med salinitet på henholdsvis 5 PSU (**Figur 2**) og 20 PSU (**Figur 3**).

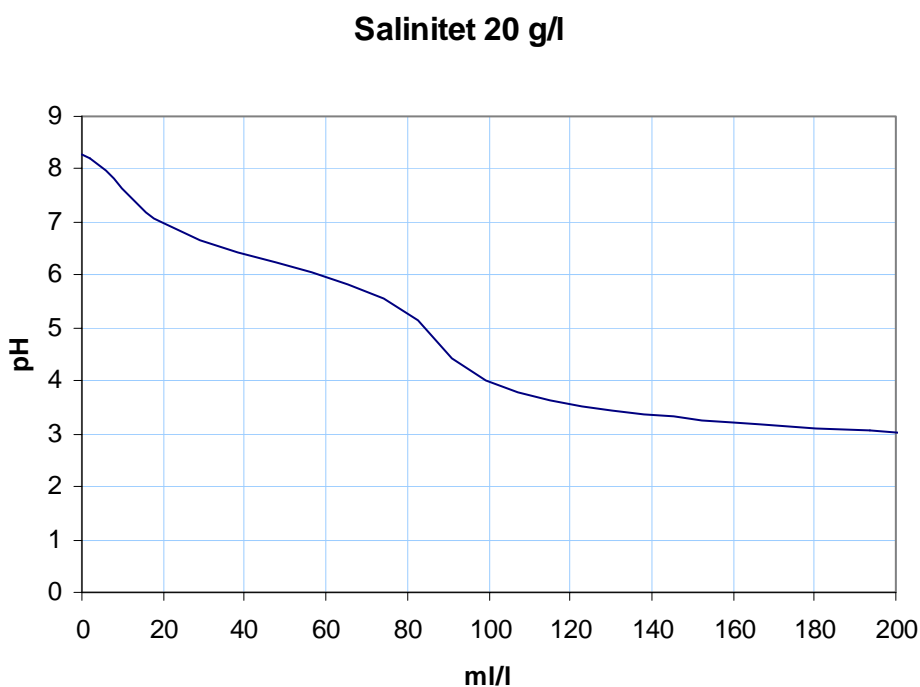


Figur 2. Effekt av ulike konsentrasjoner av avløpsvann fra Kronos Titan på pH i resipienten ved salinitet 5 PSU.

Ved den laveste saliniteten, 5 PSU, sank pH-verdien til 7.0 allerede ved tilsetning av ca 3 ml/l av avløpsvannet (fortynning ca. 300 ganger) og pH 6.5 ved 8 ml/l (fortynning 125 ganger). Ved konsentrasjonen 100 ml/l (10 gangers fortynning) var pH-verdien 3.1.

I resipientvann med salinitet på 20 PSU sank pH-verdien til 7.0 ved tilsetning av 20 ml/l (fortynning 50 ganger) og til 6.5 ved ca. 35 ml/l (fortynning ca. 30 ganger). Tilsetning av 100 ml/l (10 gangers fortynning) ga pH-verdien 4.0.

Undersøkelsen av avløpsvannets effekt på pH-verdien tyder på at fortynningsbehovet for å unngå negative effekter på marine organismer som følge av pH-reduksjon i resipienten er fra 50-300 ganger avhengig av resipientvannets saltholdighet (5-20 PSU) og med utgangspunkt i gjeldende kvalitetsnorm i Canada (pH 7.0). Når saliniteten er så lav som 5 PSU, vil imidlertid også saliniteten være under toleransegrensen for mange marine organismer og det er lite relevant å benytte en kvalitetsnorm for marint miljø. I stedet bør man ta utgangspunkt i den normale pH-verdien i Glomma og gjeldende klassifiseringsgrenser for miljøkvalitet i ferskvann. I nedre Glomma er pH-verdien normalt i området 6.8 -7.5, som tilsvarer SFTs tilstandsklasse I for ferskvann (Andersen et al. 1997). Nedre grense for tilstandsklasse II (mindre god) er 6.0. For å unngå pH-verdier under 6.0 når saliniteten i utslippsområdet er 5 PSU må avløpsvannet fortynnes ca. 70 ganger (14 ml/l). Fortynningsbehovet for unngå skadevirkninger av lav pH på organismer i resipienten kan altså anslås til 50-70 ganger avhengig av den aktuelle saliniteten i utslippsområdet.

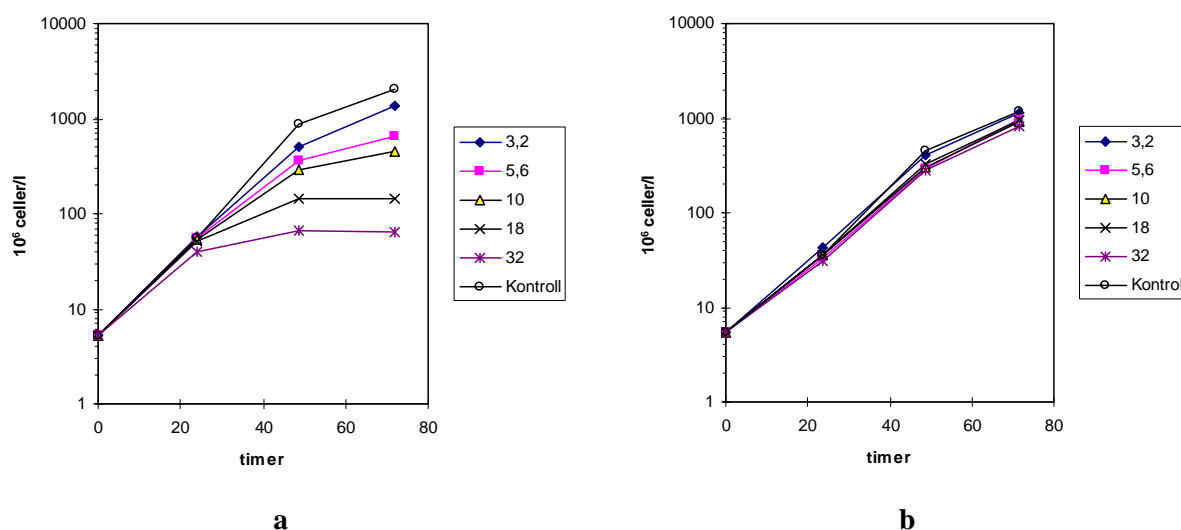


Figur 3. Effekt av ulike konsentrasjoner av avløpsvann fra Kronos Titan på pH i resipienten ved salinitet 20 PSU.

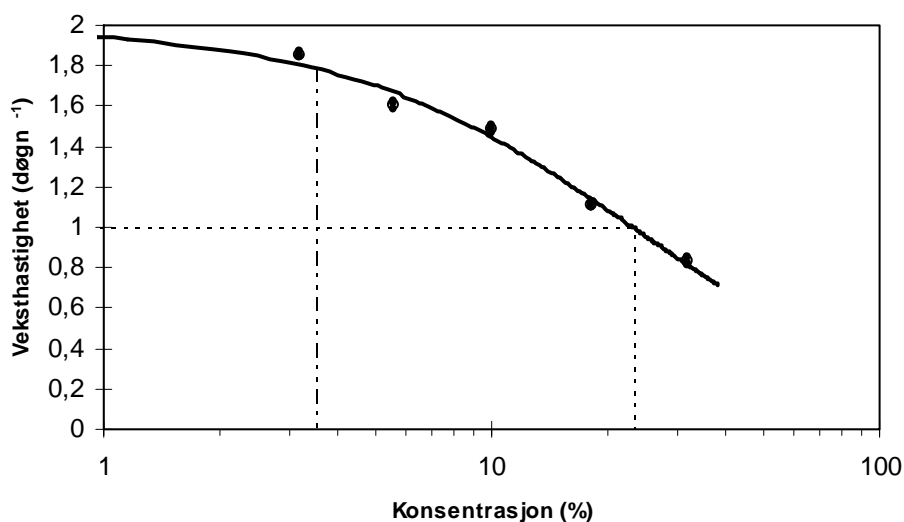
3.1.2 Giftighet

Giftighetstesten med alger, hvor tilsetning av næringsstoffer ble utført før pH-justering og filtrering viste en signifikant redusert vekst av alger allerede ved konsentrasjonen 3.2 mg/l og en økende veksthemming med økende konsentrasjon av avløpsvann (**Figur 4**). Analysen av responskurven viser at EC_{50} for veksthemming av *S. costatum* var 23 % og EC_{10} 3.5 % (**Figur 5**).

Resultatet av testen kan tyde på at avløpsvannet inneholder veksthemmende stoffer, men forløpet av vekstkurvene (**Figur 4a**) viser at veksten det første døgnet av testen var omtrent lik i alle kulturer, uavhengig av avløpsvannskonsentrasjon, og at veksthemmingen øket med tiden etter ett døgn. Dette mønsteret kan indikere at algeveksten i løsningene med avløpsvann gradvis minket pga. næringsbegrensning. På grunn av at pH-justeringen medførte en utfelling som ble fjernet ved filtrering, kan det tenkes at de næringsstoffer som var tilsatt (bl. a. fosfat) kan ha bli fjernet fra løsningene. En slik effekt kan ikke karakteriseres som en gifteffekt og en ny test ble gjennomført for å avklare årsaken til veksthemmingen.



Figur 4. Vekstforløp i kulturer av *S. costatum* ved ulike konsentrasjoner av avløpsvann. a: test 1, næringsstoffer tilsatt før pH-justering. b: test 2, næringsstoffer tilsatt etter pH-justering.



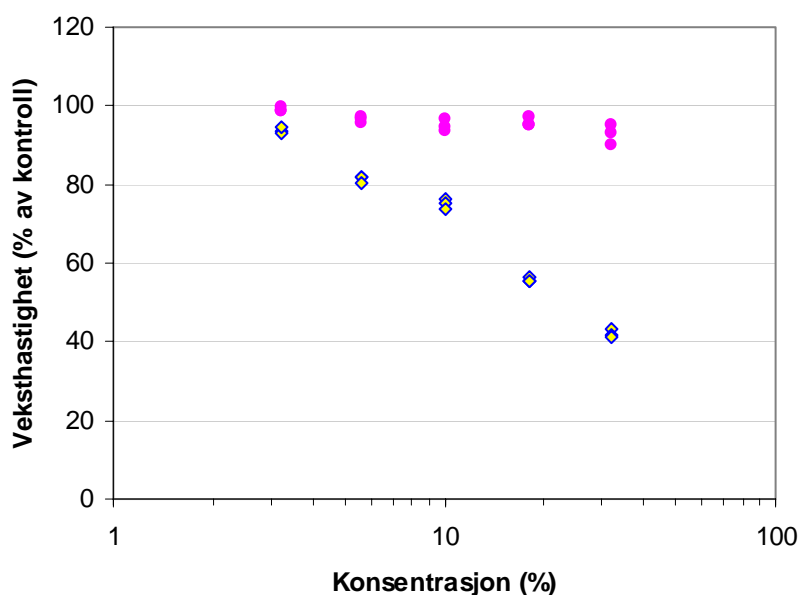
Figur 5. Veksthastighet av algen *S. costatum* som funksjon av konsentrasjon av avløpsvann i test 1, hvor næringsstoffer var tilsatt før pH-justering og filtrering ble foretatt. Strekede linjer indikerer EC10 og EC50 (Konsentrasjoner som gir hhv. 10 og 50 % veksthemming).

I den andre algetesten ble næringsstoffer tilsatt til alle testløsningene etter pH-justering og filtrering, slik at utfellingen ikke påvirket næringsinnholdet i løsningene. Vekstkurvene fra denne testen vises i **Figur 4 b**. I denne testen var veksten meget lik kontrollen i alle testløsningene.

Responskurver for begge algetestene er vist i **Figur 6**. I test 2 var veksthemmingen mindre enn 10% i alle testløsningene. I alle konsentrasjoner over 3.2 % var hemmingen statistisk signifikant ($p=0.05$).

Resultatet av algetest 2 viser at den veksthemming som ble påvist i den første testen skyldes næringsmangel som følge av utfelling av næringsstoffer ved pH-justering av løsningene. Testen viste fortsatt en svak men signifikant veksthemming ved konsentrasjoner over 3.2 %, men hemmingen var mindre enn 10 % ved den høyeste testkonsentrasjonen (32 % avløpsvann). EC_{50} og EC_{10} kan følgelig ikke beregnes. Saliniteten i den høyeste testkonsentrasjonen er beregnet til ca. 24 PSU. Dette er innenfor toleransegrensen for den benyttede testalgen, men man kan ikke se bort fra at lav saltholdighet kan ha bidratt til den reduserte veksten i 32 % avløpsvann.

Algetestene viser at avløpsvannet har en svak veksthemmende effekt på alger. Effekten på den benyttede testalgen er mindre enn 10 % ved 3 gangers fortynning i sjøvann. Ved ca. 30 gangers fortynning (3.2 %) er veksthemmingen ikke påvisbar.



Figur 6. Effekt av avløpsvann på veksthastigheten (% av kontroller) til *S. costatum* i test 1 med tilsetning av næring før pH-justering, og test 2 med tilsetning av næring etter pH-justering.

I giftighetstesten med *Acartia tonsa* ble det registrert enkelte døde dyr i de fleste konsentrasjonene av avløpsvann og i kontrollene (**Tabell 2**). I alle løsningene var dødeligheten lavere enn det som aksepteres som dødelighet i kontrollen for at testen skal være gyldig (<10 %). Det var ingen sammenheng mellom konsentrasjon av avløpsvann og dødelighet, og samme dødelighet (2 %) i kontrollen som i den høyeste konsentrasjonen av avløpsvann. Testen indikerer derfor ingen akutt gifteffekt av avløpsvannet på *Acartia tonsa* i konsentrasjoner opp til 32 %.

Tabell 2. Dødelighet av *Acartia tonsa* etter 24 og 48 timers eksponering i ulike konsentrasjoner av avløpsvann.

Prøve	Antall dyr	Antall døde 24 timer	Antall døde 48 timer	Prosent overlevelse
Kontroll	87	2	2	98
3.2 %	23	2	2	91
5.6	25	2	2	92
10	25	0	0	100
18	27	0	0	100
32	29	0	1	98

3.1.3 Innhold av metaller i avløpsvannet

Avløpsvannets innhold av metaller fremgår av **Tabell 3**. Innholdet av jern og titan er spesielt høyt. Disse metallene regnes ikke som spesielt giftige for akvatiske organismer. Ved den høyeste konsentrasjonen som ble brukt i giftighetstestene (32 %) var innholdet av jern 33 mg/l og titan 11 mg/l. Konsentrasjonene i vannløsning kan imidlertid ha vært betydelig lavere (i hvert fall for jern) fordi pH-justeringen førte til en utfelling av jern. Konsentrasjonene av metaller som er kjent å være mer giftige for vannlevende organismer (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb og Zn) var betydelig lavere. De beregnede konsentrasjonene av disse metallene ved den høyeste testkonsentrasjonen var så lave at gifteffekter på alger eller *Acartia* ikke kan forventes. Dette er i samsvar med giftighetstestene som viste ingen (*Acartia*) eller ubetydelige (alger) effekter ved konsentrasjonen 32 % avløpsvann.

Tabell 3. Innhold av metaller i avløpsvann fra Kronos Titan AS brukt i de gjennomførte økotoxikologiske testene

Metall	mg/l
Cd	<0.001
Cr	0.158
Cu	0.014
Fe	102
Ni	0.085
Pb	<0.01
Ti	33.7
V	0.375
Zn	0.058

3.2 Analyse av metaller i tang fra Glommas munningsområde og Hvaler







Fe, Ti og V inngår ikke i SFTs klassifisering av miljøkvalitet (Molvær et al 1997). Vi har derfor benyttet Knutzen og Skei (1990) sitt forslag til klassifisering for disse metaller. Denne klassifiseringen er beheftet med relativt stor usikkerhet og operer med 4 tilstandsklasser. I omtalen av resultatene fra analysene av Fe, Ti og V har vi satt disse 4 tilstandsklasser lik de 4 første klasser i SFTs klassifisering.

Blæretang fra hele undersøkelsesområdet inneholdt i 2003 generelt lave konsentrasjoner (ubetydelig til lite forurensset) av kadmium, kvikksølv og sink (**Tabell 4**), mens de observerte konsentrasjoner av krom, bly, vanadium og kobber tyder på noe mer påvirkning (moderat forurensset) på de fleste stasjoner. De største konsentrasjonsgradienter ble imidlertid observert for titan og jern (**Tabell 4**) og tangen nærmest Glommas munning (Belgen) var markert forurensset med disse to metaller, mens konsentrasjonen på Tisler tyder på ubetydelig til lite belastning. Også i tang fra Flatskjærene utenfor selve Hvalerestuariet ble det observert lave jern og titanverdier. Ser en på alle de analyserte metallene under ett synes tang fra Belgen og N-Asmaløy å være mest metallbelastet mens tang fra Tisler og Flatskjærene inneholdt lave konsentrasjoner (**Tabell 4**).

Tabell 4. Konsentrasjonen (µg/g t.v.) av metaller i blæretang innsamlet i Hvalerområdet i 2003. Stasjonene er på bakgrunn av observerte konsentrasjoner klassifisert i tilstandsklasser ifølge SFT's miljøkvalitetskriterier for kadmium (Cd), krom (Cr), Kobber (Cu), kvikksølv (Hg), bly (Pb), sink (Zn) og i følge Knutzen og Skei, 1990 for jern (Fe), vanadium (V) og titan (Ti).

Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning).

Fargekode brukt på ulike tilstandsklasser i tabellen:

	I. Ubetydelig- lite forurensset		II. Moderat forurensset		III. Markert forurensset		IV. Sterkt forurensset
	V. Meget sterkt forurensset		Ikke i klassifiseringssystem/ kan ikke klassifiseres				

Stasjon	Avstand (km)	Cd µg/g	Cr µg/g	Cu µg/g	Fe ¹⁾ µg/g	Hg µg/g	Pb µg/g	V ¹⁾ µg/g	Zn µg/g	Ti ¹⁾ µg/g
Belgen	5,0	0,709	4,1	7,01	1730	0,017	1,55	4,56	59,4	73,9
Kjøkø	5,3	0,948	2,1	5,65	726	0,013	0,82	2,18	60,4	31,8
Fugleskjær	7,5	0,968	1,3	5,82	424	0,012	1,91	1,56	64	15,4
N-Asmaløy	11,3	1,21	4,2	7,77	1620	0,014	2,04	4,23	86,6	52,9
Flatskjærene	13,5	1,07	0,58	4,45	90	0,005	0,92	1,03	55,9	1,93
Singløykvalven	14,5	0,954	1,8	5,96	379	0,019	1,79	2,28	63,8	8,85
Kvernskjær	16,3	0,718	1,4	4,5	295	0,011	1,27	1,04	35,8	8,32
Tisler	21,7	0,721	0,82	7,5	<80	0,005	0,37	0,9	37,1	1,77
Øvre grense for klasse I		1,5	1	5	300 ²	0,05	1	2 ²	150	5 ²
Max kons.		1,21	4,2	7,77	1730	0,019	2,04	4,56	86,6	73,9
Min kons.		0,709	0,58	4,45	80	0,005	0,37	0,90	35,8	1,77
Max/Min		1,7	7,2	1,7	21,6	3,8	5,5	5,1	2,4	41,8

¹⁾Fe, Ti og V inngår ikke i SFTs klassifisering. Klassifiseringen som er benyttet (Knutzen og Skei 1990) har 4 tilstandsklasser og er beheftet med relativt stor usikkerhet.

I **Tabell 5** ses observerte konsentrasjoner av titan og jern i perioden 1989 til 2003. Det er vanskelig å se noen klare tidstrender for jern og titan på stasjonene nærmest Glommas munning (Belgen, Kjøkkø, N-Asmaløy). På de mer fjerntliggende stasjonene (Singløykalven, Kvernskjær, Missingen, Tisler) var det noe høyere verdier i 1995 i forhold til de øvrige år, muligens som en konsekvens av utspyling av Ti- og Fe-holdige partikler ifm. flommen i 1995. For øvrig var det vanskelig å se noen klare tidstrender for titan og jern og det er ingen klare tegn på at nivået av disse metaller har økt de senere år. Alle undersøkte år ble de høyeste konsentrasjoner observert på stasjonene nær Glommas munningsområde (dvs. Belgen, Kjøkkø, Fugleskjær, N-Asmaløy) mens det var klart lavere konsentrasjoner på de øvrige stasjoner (**Tabell 5**).

I **Tabell 6** ses observerte konsentrasjoner av krom, bly og kobber i perioden 1989 til 2003. Det ble observert svakt høyere kromverdier i blæretang i 2003 sammenlignet med data fra 1989. Tilsvarende ble også observert for bly, men for dette metallet ble de høyeste konsentrasjoner observert i 1995, mest sannsynlig som en konsekvens av flommen i Glomma samme år (Berge 1997). Kobberkonsentrasjonen i blæretang var i 2003 lavere enn de øvrige år på alle stasjoner med unntak av Tisler og Singløykalven (**Tabell 6**).

Tabell 5. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g t.v.}$) av titan (Ti) og jern (Fe) i blæretang innsamlet i Glommas munning og Hvalerområdet på 4 ulike tidspunkt, 2003 (denne undersøkelse), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991). Stasjonene er, på bakgrunn av observerte konsentrasjoner, klassifisert i følge Knutzen og Skei, 1990.

Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning).

Fargekoden brukt på ulike tilstandsklasser ses i Tabell 4.

A: Titan

Stasjoner-	Avstand (km)	Titan ¹⁾ i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0	i.a.	141	43	73,9
Kjøkkø	5,3	24,8	54,7	48	31,8
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a.	i.a.	15,4
N-Asmaløy	11,3	41,5	56,7	62	52,9
Flatskjærene	13,5	i.a.	i.a.	i.a.	1,93
Singløskalven	14,5	<5	<5	21	8,85
Kvernskjær	16,3	7,2	<5	18	8,32
Missingen	18,5	<5	i.a.	15	i.a.
Tisler	21,7	<5	<5	15	1,77
Øvre grense for klasse I		5 ²			

¹⁾Ti inngår ikke i SFTs klassifisering. Klassifiseringen som er benyttet (Knutzen og Skei 1990) har 4 tilstandsklasser og er beheftet med relativt stor usikkerhet.

B: Jern

Stasjoner-	Avstand (km)	Jern ¹⁾ i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0		2520	588	1730
Kjøkkø	5,3	483	943	746	726
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a.	i.a.	424
N-Asmaløy	11,3	1010	1754	1041	1620
Flatskjærene	13,5	i.a.	i.a.	i.a.	90 ¹⁾
Singløskalven	14,5	180	193	316	379
Kvernskjær	16,3	327	217	290	295
Missingen	18,5	40	i.a.	138	i.a.
Tisler	21,7	197	154	88	<80 ¹⁾
Øvre grense for klasse I		300 ²			

¹⁾Fe inngår ikke i SFTs klassifisering. Klassifiseringen som er benyttet (Knutzen og Skei 1990) har 4 tilstandsklasser og er beheftet med relativt stor usikkerhet.

Tabell 6. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g t.v.}$) av krom (Cr), kobber (Cu) og bly (Pb) i blæretang innsamlet i Glommas munning og Hvalerområdet på 4 ulike tidspunkt 2003 (denne undersøkelse og Berge et al 2003), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991). Stasjonene er, på bakgrunn av observerte konsentrasjoner, klassifisert i tilstandsklasser ifølge SFT's miljøkvalitetskriterier. Merk at det for kobber er oppgitt 2 konsentrasjoner hvorav den ene representerer analysene gjennomført ifm. undersøkelser for Borregaard (Berge et al. 2003) og den andre analysen er gjennomført ifm denne undersøkelse. Begge analyser er imidlertid foretatt på materiale fra samme innsamling.

Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning).

Fargekoden brukt på ulike tilstandsklasser ses i Tabell 4.

A: Krom

Stasjoner-	Avstand (km)	Krom i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0	i.a.	i.a.	i.a.	4,1
Kjøkkø	5,3	1,6	i.a.	i.a.	2,1
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a.	i.a.	1,3
N-Asmaløy	11,3	1,6	i.a.	i.a.	4,2
Flatskjærene	13,5	i.a.	i.a.	i.a.	0,58
Singløykalkven	14,5	0,31	i.a.	i.a.	1,8
Kvernskjær	16,3	0,69	i.a.	i.a.	1,4
Missingen	18,5	<0,2	i.a.	i.a.	i.a.
Tisler	21,7	0,5	i.a.	i.a.	0,82
Øvre grense for klasse I		1			

B: Bly

Stasjoner-	Avstand (km)	Bly i blæretang ($\mu\text{g/g t.v.}$)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0	i.a.	i.a.	12,6	1,55
Kjøkkø	5,3	0,6	i.a.	6,3	0,82
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a.	i.a.	1,91
N-Asmaløy	11,3	1,1	i.a.	25,8	2,04
Flatskjærene	13,5	i.a.	i.a.	i.a.	0,92
Singløykalkven	14,5	0,8	i.a.	1,2	1,79
Kvernskjær	16,3	0,6	i.a.	3,6	1,27
Missingen	18,5	0,9	i.a.	0,4	i.a.
Tisler	21,7	0,6	i.a.	4,4	0,37
Øvre grense for klasse I		1			

(Tabell 6 forsettelse)

C:Kobber

Stasjoner-	Avstand (km)	Kobber i blæretang (µg/g t.v.)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0	i.a.	13	15,9	6,4/7,0
Kjøkø	5,3	33	14	16,9	4,5 5,7
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a	i.a	4,9 5,8
N-Asmaløy	11,3	21	15	14	6,8/7,8
Flatskjærene	13,5	i.a	i.a	i.a	3,6/4,5
Singløykcalven	14,5	9	4	i.a	5,6/6,0
Kvernaskjær	16,3	15	6	11	3,7/4,5
Missingen	18,5	5,9	i.a.	4,5	i.a
Tisler	21,7	6	3	6,8	6,2/7,5
Øvre grense for klasse I		5 µg/g			

I **Tabell 7** ses observerte konsentrasjoner av kadmium, kvikksølv og sink i perioden 1989 til 2003. Alle 3 metaller ble observert i lave konsentrasjoner i 2003. Tilsvarende er også observert tidligere år (1989) for kvikksølv. For kadmium og sink ble det observert en tendens til noe høyere konsentrasjoner i 1989 og 1994 enn i 2003

Tabell 7. Konsentrasjonen ($\mu\text{g/g}$ t.v.) av kadmium (Cd), kvikksølv (Hg) og sink (Zn) i blæretang innsamlet i Glommas munning og Hvalerområde på 4 ulike tidspunkt, 2003 (denne undersøkelse), 1995 (Berge, 1997), 1994 (Berge et al. 1996) og 1989 (Berge 1991). Stasjonene er, på bakgrunn av observerte konsentrasjoner, klassifisert i tilstandsklasser ifølge SFT's miljøkvalitetskriterier.

Avstand=avstand fra Kallera lykt (Glommas munning).

Fargekoden brukt på ulike tilstandsklasser ses i Tabell 4.

A:Kadmium

Stasjoner-	Avstand (km)	Kadmium i blæretang ($\mu\text{g/g}$ t.v.)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0	i.a.	1,16	i.a.	0,709
Kjøkkø	5,3	1,7	1,94	i.a.	0,948
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a.	i.a.	0,968
N-Asmaløy	11,3	1,3	2,16	i.a.	1,21
Flatskjærene	13,5	i.a.	i.a.	i.a.	1,07
Singløyskalven	14,5	0,87	1,20	i.a.	0,954
Kverniskjær	16,3	1,08	1,37	i.a.	0,718
Missingen	18,5	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Tisler	21,7	1,1	1,41	i.a.	0,721
Øvre grense for klasse I		1,5			

B:Kvikksølv

Stasjoner-	Avstand (km)	Kvikksølv i blæretang ($\mu\text{g/g}$ t.v.)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0	i.a.	i.a.	i.a.	0,017
Kjøkkø	5,3	0,04	i.a.	i.a.	0,013
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a.	i.a.	0,012
N-Asmaløy	11,3	0,02	i.a.	i.a.	0,014
Flatskjærene	13,5	i.a.	i.a.	i.a.	0,005
Singløyskalven	14,5	0,03	i.a.	i.a.	0,019
Kverniskjær	16,3	0,02	i.a.	i.a.	0,011
Missingen	18,5	0,01	i.a.	i.a.	i.a.
Tisler	21,7	<0,01	i.a.	i.a.	0,005
Øvre grense for klasse I		0,05			

(Tabell 7 fortsettelse)

C:Sink

Stasjoner-	Avstand (km)	Sink i blæretang (µg/g t.v.)			
		1989	1994	1995	2003
Belgen	5,0	i.a.	150	i.a.	59,4
Kjøkkø	5,3	275	54	i.a.	60,4
Fugleskjær	7,5	i.a.	i.a.	i.a.	64
N-Asmaløy	11,3	184	193	i.a.	86,6
Flatskjærene	13,5	i.a.	i.a.	i.a.	55,9
Singløskalven	14,5	99	90	i.a.	63,8
Kverniskjær	16,3	226	113	i.a.	35,8
Missingen	18,5	86	i.a.	i.a.	i.a.
Tisler	21,7	111	80	i.a.	37,1
Øvre grense for klasse I		150			

Ifølge bedriften utgjør utslippene av titan i form av titandioksid og jern i form av jernsulfat de største metallutslippene fra Kronos Titan AS (Tabell 8). Det er da også disse metaller der en ser de største konsentrasjonsgradienter i blæretang fra resipienten. Det er rimelig å anta at de relativt høye konsentrasjoner av disse metaller som observeres i blæretang på en del av stasjonene i Glommas munningsområde i betydelig grad skyldes bedriftens utslipp. Tidligere observasjoner viser også at det i vannet nedstrøms utslippet til Kronos Titan AS opptrer høyere overkonsentrasjoner av jern og titan enn stasjonen oppstrøms utslippet i Glomma (Magnusson og Sørensen, 1996). Når det gjelder de øvrige metaller som i 2003 til ble observert i lave (Cd, Hg og Zn) (Tabell 7) eller moderate (Cr, Pb, Cu) (Tabell 6) konsentrasjoner er det rimelig å anta at bidraget fra Kronos Titan AS er beskjedent. Dette gjelder i alle fall for kobber hvor utslippene fra andre bedrifter er vesentlig større (Berge et al. 2003).

Tabell 8. Gjennomsnittlig utslipp til Glomma fra Kronos Titan i 2003 (data oppgitt fra bedriften)

Forbindelse/metall	Gj. Snittlig utslipp i kg pr. døgn	Gj. konsentrasjon i primærutslippet (mg/L)
H ₂ SO ₄	8180	766
TiO ₂	1010	116
FeSO ₄	1460	182
Cr	1,29	0,18
Cu	0,26	0,035
Zn	0,72	0,10
Pb	<0,09	<0,01
Cd	<0,008	<0,001
Hg	0,012	0,0016
V	2,2	0,32
Mn	4,3	0,6
Co	0,11	0,017
Ni	0,4	0,06
Mo	0,03	0,005

4. Avsluttende kommentarer og konklusjoner

Giftighetstestene viste ingen akutt-toksiske effekter av avløpsvannet på krepsdyret *Acartia tonsa* ved konsentrasjoner opp til 32 % i sjøvann. Veksten av alger (*Skeletonema costatum*) ble signifikant redusert ved konsentrasjoner over 3.2 %, men veksthemmingen var mindre enn 10 % opp til 32 % konsentrasjon av avløpsvann. Lav saltholdighet kan ha bidratt til veksthemmingen som ble observert i algetesten.

Avløpsvannets innhold av metaller gir ikke grunn til å forvente gifteffekter på de benyttede testorganismene. Giftighetstestene bekreftet at den samlede gifteffekten av metaller var ubetydelig ved 32 % konsentrasjon av avløpsvann i sjøvann (3 gangers fortynning).

Undersøkelsen viser at innhold av syre er den faktor som vil være viktigst for eventuelle skadevirkninger av utslipp av avløpsvannet i resipienten. Med utgangspunkt i kvalitetsnormer for sjøvann (Canada) og ferskvann (Norge) varierer fortynningsbehovet for å unngå negative effekter som følge av pH-senking fra ca. 50 ganger i resipientvann med saltholdighet 20 PSU til 70 ganger når saltholdigheten er 5 PSU

Med unntak av jern og titan ble det observert lave til moderate konsentrasjoner av metaller i blæretang i hele undersøkelsesområdet i 2003 og utslippene fra Kronos Titan av disse metaller har derfor ikke gitt noen tydelig forringelse av miljøkvaliteten målt ut fra nivåer av metaller i blæretang. For jern og titan er det imidlertid klare gradienter i resipienten med de høyeste konsentrasjoner i Glommas munningsområde som trolig skyldes utslippene fra Kronos Titan. Det er imidlertid viktig å være klar over at titan og jern ikke er blant de metaller som antas å gi særlige skadevirkninger i marine områder.

Ut fra giftighetstestene og analyser av metaller i blæretang synes utslippene fra Kronos Titan å ha liten til moderat effekt/påvirkning på resipienten.

5. Referanser

- Andersen, J.R, Bratli, J., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krog, T., Lund, V., Rosland, D., Rossland, B. og Aanes, K.J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veiledning nr. 97:04, TA-1468/1997. 36 pp.
- Berge, J.A., 1991. Miljøgifter i organismer i Hvaler-/Kosterområdet. NIVA-rapport nr. 2669 (feilaktig påført rapport nr. 2560), 192s.
- Berge, J.A., Brevik, E.M., Godal, A. og Berglund, L., 1996. Overvåking av Hvaler-Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990-1994. Miljøgifter i organismer. NIVA-rapport nr. 3443, 146s.
- Berge, J.A., 1997. Undersøkelser av miljøgifter i blæretang, blåskjell og torsk fra Hvalerområdet i forbindelse med storflommen i Glomma i 1995. NIVA-rapport nr. 3659, 45s.
- Berge, J.A., Källqvist, T., Romstad, R., Tobiesen, A., 2003. Utslipp fra Borregaard Industries Ltd til Glomma - økotoksikologisk karakterisering av avløpsvann fra cellulosefabrikken og innhold av kobber og organiske halogenforbindelser i Glomma og Hvalerområdet. Niva- rapport nr. 4751, 79s.
- Environment Canada 2002: Canadian Environmental Quality Guidelines.
http://www.ccme.ca/publications/can_guidelines.html
- Knutzen, J., Skei, J., 1990. Kvalitetskriterier for miljøgifter i vann, sediment og organismer, samt foreløpige forslag til klassifikasjon av miljøkvalitet. Niva-rapport nr. 2540, 139s.
- Knutzen, J. 1981: Effects of decreased pH on marine organisms. Marine Pollution Bulletin 12 (1), 25-29.
- Magnusson, J., Schaanning, M og Tjomsland, T., 1993. Vurdering av utslipp til Glomma fra sjøvannsvasker for SO₂. Niva-rapport nr 2892, 13s.
- Magnusson, J. Sørensen, K., 1996. Overvåking av Hvaler-Singlefjorden og munningen av Iddefjorden 1990-94. Overflatevannets vannkvalitet og oksygenforholdene i dypvannet
Niva-rapport nr. 3538, 82s.
- Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. & Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-veiledning nr. 97:03, TA-1467/1997. 36 pp. (In Norwegian).
- U.S. EPA 2002: National Recommended Water Quality Criteria. EPA 822-R-02-047, Sept. 2002.
<http://www.epa.gov/waterscience/pc/revcom.pdf>

